

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проекту

**ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**(Часть 2. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ
ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И АВТОТРАНСПОРТА)**

к дисциплине

ПРИКЛАДНАЯ АЭРОЭКОЛОГИЯ

Модуль 3

**Основы образования и процессы формирования выбросов
в атмосферный воздух**

*(для студентов 3 курса (6 семестр) дневной и 4 курса (7 семестр)
заочной форм обучения направление подготовки
6.040106 – Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное
природопользование)*

**Харьков
ХНУГХ им. А. Н. Бекетова
2015**

Методические указания к курсовому проекту «Инвентаризация выбросов загрязняющих веществ от предприятий». (Часть 2. Расчет выбросов в атмосферу от энергетических установок и автотранспорта) к дисциплине «Прикладная аэроэкология». Модуль 3. Основы образования и процессы формирования выбросов в атмосферный воздух (для студентов 3 курса дневной (6 семестр) и 4 курса (7 семестр) заочной форм обучения, направление подготовки 6.040106 – Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование) / Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова; сост. : В. Е. Бекетов, Г. П. Евтухова. – Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2015 – 32 с.

Составители: к. т. н., доц. В. Е. Бекетов,
ст. преп. Г. П. Евтухова.

Рецензент: д.т.н., проф. Ф. В. Стольберг

Рекомендовано кафедрой инженерной экологии и экологической безопасности городов, протокол № 5 от 22.12.2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	5
2.1 Расчет показателя эмиссии твердых частиц	6
2.2 Расчет показателя эмиссии диоксида серы	7
2.3 Расчет показателя эмиссии оксидов азота	8
2.4 Расчет показателя эмиссии оксида углерода.....	10
2.5 Расчет показателя эмиссии тяжелых металлов	10
<i>2.5.1 Эмиссия тяжелых металлов при сжигании углей</i>	<i>10</i>
<i>2.5.2 Эмиссия тяжелых металлов при сжигании мазута</i>	<i>11</i>
3 ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ВЫБРОСАХ АВТОТРАНСПОРТА	13
3.1 Расчет выбросов загрязняющих вещества от автомобильного транспорта.....	14
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТАБЛИЦЫ К РАСЧЕТАМ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ В ТАБЛИЦЫ К РАСЧЕТАМ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ С ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ D ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА.....	30
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	31

1 ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Инвентаризация выбросов – систематизация информации о размещении источников загрязнения атмосферы на территории, виды и количественный состав загрязняющих веществ, которые выбрасываются в атмосферный воздух.

Инвентаризацию выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятии выполняют специализированные организации, соответствующие подразделения предприятий, которые имеют определенный опыт работы, техническое оборудование и находятся на учете в Минэкобезопасности Украины.

Материалы инвентаризации используются для:

- разработки нормативов образования загрязняющих веществ, которые отводятся в атмосферный воздух при эксплуатации технологического и другого оборудования, сооружений и объектов;
- разработки нормативов предельно допустимых выбросов;
- регуляция выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- осуществление государственного учета в отрасли охраны атмосферного воздуха;
- разработки краткосрочных и долгосрочных планов мероприятий предприятий;
- разработки экологических программ по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

При инвентаризации выбросов загрязняющих веществ используются материалы:

- прямых методов измерений, которые основываются на проведении непосредственных инструментальных измерений;
- расчетных методов;
- материалы технологического регламента и проектных показателей. В необходимых случаях для расчета количественных характеристик выбросов должны применяться отраслевые методики, утвержденные органами Минэкобезопасности Украины.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Определение *валовых выбросов* загрязняющих веществ (инвентаризация) может проводиться расчетным методом через показатели эмиссии или путем постоянных измерений. Приоритет имеет определение валовых выбросов путем постоянных измерений с использованием приборов непрерывного мониторинга содержания вещества в дымовых газах.

При отсутствии такой возможности валовые выбросы определяются на основании расчета.

Расчетные методы определения выбросов загрязняющей вещества базируются на использовании *показателя эмиссии*. *Показатель эмиссии* характеризует массовое количество загрязняющей вещества, которое выбрасывается энергетической установкой в атмосферу, отнесенную к единице энергии, выделяющейся при сгорании топлива.

Во время сжигания органического топлива в энергетических установках расчету подлежат выбросы в атмосферный воздух следующих загрязняющих веществ: *вещества в виде суспендированных твердых частиц; окислы серы; окислы азота; окисел углерода; тяжелые металлы и их соединения.*

Валовые выбросы загрязняющего вещества, которое поступает в атмосферу с дымовыми газами, определяется как сумма валовых выбросов этого вещества от всех видов топлива, которые были использованы:

Обобщенный показатель эмиссии загрязняющего вещества является средней удельной величиной выбросов для определенной категории энергетических установок, определенной технологии сжигания топлива, определенного вида топлива с учетом мероприятий по снижению выбросов загрязняющего вещества. Он не учитывает особенности химического состава топлива.

Специфический показатель эмиссии является удельной величиной выбросов, которая определяется для конкретной энергетической установки с учетом индивидуальных характеристик топлива, конкретных характеристик процесса сжигания и мероприятий по снижению выбросов загрязняющего вещества.

При наличии обоих показателей эмиссии загрязняющего вещества необходимо использовать *специфический*.

Валовой выброс j -го загрязняющего вещества E_j , т, что поступает в атмосферу с дымовыми газами от энергетической установки, определяется как сумма валовых выбросов этого вещества во время сжигания разных видов топлива, в том числе во время их одновременного общего сжигания:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_{i, T} \quad (2.1)$$

где E_{ji} – валовой выброс j -й загрязняющего вещества во время сжигания i -го топлива, т;

k_{ji} – показатель эмиссии j -го загрязняющего вещества для i -го топлива, г/ГДж;

B_i – затрата i -го топлива, т;

$(Q_i^r)_i$ – низшая рабочая теплота сгорания i -го топлива, МДж/кг.

2.1 Расчет показателя эмиссии твердых частиц

Показатель эмиссии вещества в виде суспендированных твердых частиц (далее – твердых частиц) определяется как специфический и рассчитывается по формуле:

$$k_{mv} = \frac{10^6}{Q_i^r} \left(a_{vux} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_c} \right) (1 - \eta_{zy}) + k_{mvS},$$

где k_{mv} – показатель эмиссии твердых частиц, г/ГДж;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

A^r – массовое содержание золы в топливе на рабочую массу %;

a_{vux} – доля золы, которая выходит из котла в виде летучей золы;

Q_c – теплота сгорания углерода до CO_2 , которая равняется 32,68 МДж/кг;

q_4 – потери тепла, связанные с механическим недожиганием топлива %;

η_{zy} – эффективность очистки дымовых газов от твердых частиц;

k_{mvS} – показатель эмиссии твердых продуктов взаимодействия сорбента и окислов серы и твердых частиц сорбента, г/ГДж.

Низшую рабочую теплоту сгорания топлива Q_i^r и массовое содержание золы в топливе A^r определяют по характеристикам сжигаемого топлива (табл. А.1, приложение А).

Доля золы, которая выходит из котла в виде летучей золы a_{vux} , зависит от технологии сжигания топлива и определяется либо экспериментально, либо по

паспортным данным установки. При отсутствии этих данных $a_{вих}$ принимают из таблицы А.2.

Эффективность очистки дымовых газов от твердых частиц $\eta_{з\gamma}$ определяется либо экспериментально, либо по паспортным данным установки.

При использовании сорбента для связывания оксидов серы в топке котла (например, по технологиями сжигания топлива в кипящем слое или при применении технологий сухого или полусухого связывания серы) образуются твердые частицы сульфата и сульфита и неиспользованного сорбента. Показатель эмиссии твердых частиц неиспользованного в энергетической установке сорбента и образованных сульфатов и сульфитов $k_{мсS}$ – г/ГДж рассчитывают по формуле:

$$k_{мсS} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{S^r}{100} \left[\eta_1 \frac{\mu_{прод}}{\mu_S} + (m - \eta_1) \frac{\mu_{сорб}}{\mu_S} \right] a_{вих} (1 - \eta_{з\gamma}),$$

где Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

S^r – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

$a_{вих}$ – доля золы, которая выходит из котла в виде летучей золы;

$\mu_{прод}$ – молекулярная масса твердого продукта взаимодействия сорбента и оксидов серы, кг/кмоль;

$\mu_{сорб}$ – молекулярная масса сорбента, кг/моль;

μ_S – молекулярная масса серы, равная 32, кг/моль;

m – мольное соотношение активного химического элемента сорбента и серы (табл. А.3);

η_1 – эффективность связывания серы сорбентом в топке или при использовании методов десульфурации дымовых газов (табл.А.3, А.4):

$\eta_{з\gamma}$ – эффективность очистки газов от твердых частиц.

2.2 Расчет показателя эмиссии диоксида серы

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_1)(1 - \eta_{11}\beta),$$

где Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг; (табл.А.1);

S^r – содержание серы в топливе на рабочую массу, % (табл.А.1);

η_1 – эффективность связывания серы золой или сорбентом (табл.А.3);

η_{11} – эффективность очистки дымовых газов от окислов серы;

β – коэффициент работы сероочистной установки.

Коэффициент работы сероочистой установки β определяется как отношение времени работы сероочистой установки к времени работы энергетической установки. Коэффициент β определяется при анализе данных о работе очистительной и энергетической установок в целом. При отсутствии таких данных значения эффективности сероочистки дымовых газов η_{II} и коэффициента работы сероочистой установки β по различным технологиям десульфуризации принимаются согласно таблице А.4.

К установкам десульфуризации дымовых газов относятся и некоторые виды золоуловителей. Для электростатических фильтров и циклонов эффективность улавливания окислов серы равняется нулю. Для мокрых золоулавливающих установок – мокрых скрубберов – величина η_{II} зависит от общей щелочности воды на орошение и от содержания серы в топливе S^r . Приведенное содержание серы S^l определяется как отношение массового содержания серы (на рабочую массу топлива) к низшей рабочей теплоте сгорания топлива ($S^l = S^r/Q^r_i$). Данные об эффективности улавливания окислов серы в мокрых скрубберах приведены в таблице А.5.

2.3 Расчет показателя эмиссии оксидов азота

При сжигании органического топлива образуются оксиды азота NOx (оксид азота NO и диоксид азота NO2), выбросы которых определяются в пересчете на NO2.

Показатель эмиссии окислов азота k_{NOx} , г/ГДж, с учетом мероприятий по сокращению выбросов рассчитывается по формуле:

$$k_{NOx} = k_{(NO_x)_0} f_n (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta),$$

где $k_{(NO_x)_0}$ – показатель эмиссии окислов азота без учета мероприятий сокращения выбросов, г/ГДж;

f_n – степень уменьшения выбросов во время работы на низкой нагрузке;

η_I – эффективность первичных (режимно-технологических) мероприятий сокращения выбросов;

η_{II} – эффективность вторичных мероприятий (азотоочистой установки);

β – коэффициент работы азотоочистой установки.

Для конкретной энергетической установки специфический показатель эмиссии окислов азота определяют на основе результатов испытаний энергетической установки.

Обобщенный показатель эмиссии окислов азота $k_{(NOx)o}$ во время сжигания органического топлива по разным технологиям без учета мероприятий по сокращению выбросов NO_x , определяются согласно таблице А.6.

При работе энергетической установки на низкой нагрузке уменьшается температура процесса горения топлива, благодаря чему сокращаются выбросы окислов азота. Степень уменьшения выбросов NO_x , f_n при этом определяется по эмпирической формуле:

$$f_n = (Q_{\phi} / Q_n)^z,$$

где Q_{ϕ} – фактическая тепловая мощность энергетической установки, МВт;

Q_n – номинальная тепловая мощность энергетической установки, МВт;

Z – эмпирический коэффициент, который зависит от вида энергетической установки, ее мощности, типа топлива и т. п.

Для паровых котлов тепловая мощность Q_n зависит от паропродуктивности D_o , параметров пара и других характеристик котла. Тепловую мощность Q_n , *MВт* на основании данных о его паропродуктивности D_o рассчитывают по формуле:

$$Q_n = D_o / w,$$

где D_o – паропроизводительность парового котла, т/час;

w – отношение паропродуктивности к тепловой мощности котла, т/(час МВт).

Значения w принимаются из таблицы А.7.

Эмпирический коэффициент Z определяется во время испытаний энергетической установки. При их отсутствии значения Z берется из таблицы А.8.

Первичные (режимно-технологические) мероприятия направлены на уменьшение образования окислов азота в топке или камере сгорания энергетической установки. Перечень и ориентировочные значения эффективности первичных мероприятий η_I уменьшения выбросов окислов азота приведены в таблице А.9.

При невозможности достичь с помощью первичных мероприятий необходимого снижения концентрации окислов азота в дымовых газах используют очистные установки. Значение эффективности η_{II} и коэффициента работы азотоочистной установки β (отношение времени работы азотоочистной установки к времени работы энергетической установки) определяют во время испытаний, а при их отсутствии – согласно таблице А.10.

2.4 Расчет показателя эмиссии оксида углерода

Образование оксида углерода CO является результатом неполного сгорания углерода органического топлива. С уменьшением мощности энергетической установки концентрация CO в дымовых газах растет.

Основным методом определения выбросов оксида углерода является измерение его концентрации. При отсутствии постоянных измерений концентрации CO его валовые выбросы рассчитывают по формуле (2.1) с использованием усредненных показателей эмиссии CO в зависимости от вида топлива, мощности энергетической установки и технологии сжигания. Усредненных показателей эмиссии CO представлены в таблице А.11.

2.5 Расчет показателя эмиссии тяжелых металлов

Выбросы тяжелых металлов и их соединений связаны с наличием в минеральной части топлива соединений тяжелых металлов. К тяжелым металлам, соединения которых наиболее вредны для окружающей среды, относятся: арсен (As), кадмий (Cd), хром (Cr), медь (Cu), ртуть (Hg), никель (Ni), свинец (Pb), селен (Se), цинк (Zn). Во время сжигания мазута или тяжелого дизельного топлива к тяжелым металлам этой группы отнесен также ванадий (V) и его соединения. В частицах летучей золы большинство этих элементов встречаются в виде окислов и хлоридов. В газообразных выбросах возможно наличие ртути, селена и арсена, которые частично испаряются из топлива.

2.5.1 Эмиссия тяжелых металлов при сжигании углей

Показатель эмиссии тяжелого металла $k_{эм}, г/ГДж$ при сжигании угля является специфическим и определяется по формуле:

$$k_{эм} = \frac{c_{в.м.}}{Q_i^r} [a_{вих} f_{зб} (1 - \eta_{зy}) (1 - f_z) + f_z (1 - \eta_{зy})],$$

где $c_{в.м.}$ – массовое содержание тяжелого металла в топливе, мг/кг;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$a_{вих}$ – часть золы, которая выходит из котла в виде летучей золы;

$f_{зб}$ – коэффициент обогащения тяжелого металла;

$\eta_{зy}$ – эффективность золоулавливающей установки;

f_z – частица тяжелого металла, которая выходит в газообразной форме;

$\eta_{зy}$ – эффективность уловления газообразной фракции тяжелого металла в золоулавливающей установке.

Массовое содержание тяжелого металла в топливе $c_{\text{вм}}$ определяется путем проведения элементного анализа сжигаемого топлива. При отсутствии данных анализа ориентировочные значения $c_{\text{вм}}$ определяют согласно таблице А.12.

Доля золы $a_{\text{вих}}$, которая выносится из энергетической установки в виде летучей золы, зависит от технологии сжигания топлива, приведена в таблице А.2.

Коэффициент збагачення $f_{\text{зб}}$ характеризует свойство "обогащения" (повышение содержания) тяжелого металла в частицах золы. Содержание тяжелых металлов в мелкой фракции золы выше, чем в крупной. Поскольку в золоулавливающей установке наиболее эффективно улавливается крупная фракция, то в атмосферный воздух выбрасывается мелкая фракция, в которой содержание тяжелых металлов больше. В случае отсутствия данных для конкретных видов и марок сжигаемого твердого топлива в расчетах используют табличные коэффициенты $f_{\text{зб}}$, приведенные в таблице А.13.

Часть тяжелого металла, которая выходит из угля в газообразном виде f_2 зависит от физико-химических свойств тяжелого металла. Ориентировочные значения f_2 приведены в таблице А.14.

Эффективность улавливания твердых частиц золоулавливающей установкой $\eta_{\text{зз}}$ зависит от типа очистительного оборудования, установленного на энергетической установке, например электростатического фильтра, рукавного фильтра, мокрого скруббера или батарейного циклона.

Эффективность улавливания газообразных тяжелых металлов $\eta_{\text{гз}}$ зависит от свойств тяжелого металла, типа золоуловителя и наличия других мероприятий очистки дымовых газов, таких, как сероочистные и азотоочистные установки. Эффективность улавливания газообразной фракции тяжелых металлов в электрофильтрах $\eta_{\text{гз}} = 0,35$, для всех других золоуловителей $\eta_{\text{гз}} = 0$.

2.5.2 Эмиссия тяжелых металлов при сжигании мазута

При сжигании в энергетической установке мазута образуются соединения тяжелых металлов, которые входят в состав мазутной золы. Соединения ванадия относятся к основным составляющим мазутной золы. Поэтому количество выбросов ванадия служит критерием вредного воздействия мазутной золы на окружающую среду.

Показатель эмиссии мазутной золы k_v , г/ГДж, в перерасчете на ванадий является специфическим и рассчитывается по формуле:

$$k_v = \frac{c_v}{Q_i^r} (1 - \eta_{oc})(1 - \eta_{zy(v)}) ,$$

где Q_i^r – нижняя теплота сгорания топлива, МДж/кг;

c_v – массовое содержание ванадия в топливе, мг/кг;

η_{oc} – доля ванадия, оседающая с твердыми частицами на поверхностях нагрева котла;

$\eta_{zy(v)}$ – эффективность улавливания ванадия в золоуловителе.

Массовое содержание ванадия в мазуте c_v , мг/кг, определяется по результатам химического анализа мазута или рассчитывается по формуле:

$$c_v = 2222 A^r ,$$

где A^r – массовое содержание золы в мазуте на рабочую массу, %.

Доля ванадия η_{oc} , которая оседает с твердыми частицами на поверхностях нагрева котлов, зависит от конструктивных особенностей котлов: $\eta_{oc}=0,07$ (для котла с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей при остановке котла); $\eta_{oc}=0,05$ (для котла без промежуточных пароперегревателей, очистка поверхностей при остановке котла).

Эффективность очистки дымовых газов от мазутной золы (в пересчете на ванадий) $\eta_{zy(v)}$ в газомазутных котлах батарейными циклонами, которые специально применяются для этого (диапазон эффективности очистки 0,65÷0,85), определяется по эмпирической формуле:

$$\eta_{zy(v)} = 3,1277 \eta_{zy}^2 - 1,4948 \eta_{zy} - 0,1412 ,$$

где η_{zy} – степень очистки дымовых газов от твердых частиц.

Показатель эмиссии пятиокси ванадия $k_{V_2O_5}$ рассчитывают по формуле:

$$k_{V_2O_5} = k_v \frac{\mu_{V_2O_5}}{2\mu_v} = k_v \frac{182}{2 * 51} \approx 1,8k_v ,$$

где k_v – показатель эмиссии мазутной золы в пересчете на ванадий;

$\mu_{V_2O_5}$ – молекулярная масса пятиокси ванадия, 182 кг/моль;

μ_v – молекулярная масса ванадия, 51 кг/моль.

3 ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ВЫБРОСАХ АВТОТРАНСПОРТА

В отличие от промышленных источников загрязнения, привязанных к определенным координатам и отделенных от жилой застройки СЗЗ, автотранспорт является подвижным (нестационарным) источником загрязнения атмосферы, осуществляющим выбросы в центральной части городов, внутри жилых кварталов, в местах массового отдыха.

В автомобиле существует три источника выбросов загрязняющих веществ:

- отработанные газы двигателей внутреннего сгорания (ДВС);
- картерные газы;
- топливные испарения.

Наиболее существенными из них являются *отработавшие газы*, их основными, токсичными элементами являются: *оксид углерода, оксиды азота, несгоревшие углеводороды, диоксид серы, сажа, соединения свинца, полициклические ароматические углеводороды*.

Оксид углерода, углеводороды и сажа в выбросах автотранспорта – результат *неполного сгорания топлива*.

Оксид углерода образуется в результате неполного сгорания топлива в камере сгорания: в обогащенной смеси – из-за неполного сгорания углерода при недостатке кислорода, а в сильно обедненной – из-за неполного распространения пламени. Этому способствует также эффект переохлаждения топливно-воздушной смеси на стенках камеры сгорания.

Основной причиной неполного сгорания *углеводородов* является охлаждение топливной смеси стенками камеры сгорания, непрерывное смешивание топлива и воздуха во время впрыска и сгорания, низкая летучесть дизельного топлива. При этом в атмосферу поступает более 400 видов углеводородных соединений.

Оксиды азота – это результат реакции азота и кислорода, содержащихся в воздухе, подаваемом в цилиндры ДВС. Количество *оксидов азота*, образующихся в камере сгорания, зависит от температуры, времени и коэффициента избытка воздуха. Обедненные топливно-воздушные смеси дают наивысшие концентрации оксидов азота, поскольку в них имеется избыточное количество кислорода при относительно высоких температурах горения.

Диоксид серы в выбросах ДВС образуется в результате окисления серы, содержащейся в топливе. Существенные выбросы *диоксида серы* в дизельных двигателях обусловлены высоким содержанием серы в дизельном топливе.

Сажевый аэрозоль состоит из частиц углерода и тяжелых (жидких) углеводородов. При больших нагрузках на двигатель сажевый аэрозоль в основном составляют частицы углерода, при малых нагрузках – увеличивается количество тяжелых углеводородов.

Токсичность выбросов двигателей внутреннего сгорания обусловлена адсорбированными на поверхности частиц углерода полициклическими ароматическими углеводородами, из которых многие канцерогенны.

При использовании этилированных сортов бензина, в атмосферу попадают тетраэтилсвинец и другие соединения свинца, являющиеся сильнодействующими, токсичными веществами.

3.1 Расчет выбросов загрязняющих вещества от автомобильного транспорта

В основе методики расчета лежит масса потребленного топлива с учетом эксплуатационных факторов и технического состояния автотехники. Выбросы углеводородов с картерными газами и в виде испарений топлива учитываются соответствующим увеличением выбросов углеводородов с отработанными газами.

Масса выброса j -го загрязняющего вещества за период τ подвижным составом автомобильного транспорта, имеющего в своем составе n групп автомобилей k -го типа, определяется по формуле:

$$M_j^\tau = \sum_{i=1}^n (g_{j1i} * G_{1i}^\tau + g_{j2i} * G_{2i}^\tau) * K_{Tji} * 10^{-3}, m$$

где g_{j1i} и g_{j2i} – удельные выбросы j -го загрязняющего вещества с единицы массы топлива, потребляемого автомобилями k -го типа в условиях движения в городах, населенных пунктах и вне их соответственно;

G_{1i}^τ и G_{2i}^τ – расход топлива автомобилями k -го типа в условиях движения в городах, населенных пунктах и вне их соответственно за период τ , т;

K_{Tji} – коэффициент технического состояния автомобилей. Для диоксида серы и соединений свинца $K_{Tji}=1$.

Значения удельных выбросов загрязняющих веществ для современных автомобилей приведены в таблице В.1 (Приложение В).

Значения коэффициента K_{Tji} , учитывающего воздействие технического состояния автомобилей, приведены в таблице В.3.

Если нет данных по расходам топлива автомобилями отдельно в городах населенных пунктах и вне их, то масса выбросов j -го загрязняющего вещества подвижным составом автомобильного транспорта, который имеет n групп

автомобилей k -го типа, за период τ определяется по формуле:

$$M_j^\tau = \sum_{i=1}^n g_{jyi} * G_i^\tau * K_{Tji} * 10^{-3}, m$$

где g_{jyi} – усредненный удельный выброс j -го загрязняющего вещества с единицы топлива, потребляемого автомобилями k -го типа, кг/т;

$G_{\tau i}$ – расход топлива автомобилями k -го типа, т.

Значения усредненных удельных выбросов загрязняющих веществ для современных автомобилей приведены в таблице В.2.

Значения коэффициента K_{Tji} определяются по таблице В.3.

Выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями с дизелями рассчитываются по удельным выбросам для грузовых автомобилей с дизелями.

Выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями с ДВС, работающими на сжатом природном газе (СПГ), рассчитываются по удельным выбросам для грузовых автомобилей с ДВС, работающих на СПГ.

Методика может быть использована для приблизительного расчета выбросов загрязняющих веществ от сельскохозяйственной техники. В этом случае удельные выбросы загрязняющих веществ принимаются такими же, как для грузовых автомобилей, работающих на соответствующем виде топлива (таблица В.1) во время движения вне городов и населенных пунктов.

В случае отсутствия данных по расходу топлива автомобилями разных типов приближенный расчет выбросов загрязняющих веществ подвижным составом автомобильного транспорта можно вести, исходя из расхода топлива данного вида по нижеприведенной формуле:

$$M_i = \sum_{j=1}^m g_{jci} * G_i^\tau * K_{Tji} * 10^{-3}, m$$

где g_{jci} – средний удельный выброс j -го загрязняющего вещества с единицы израсходованного i -го топлива, кг/т;

$G_{\tau i}$ – расход i -го топлива подвижным составом автопредприятия, т (определяется из отчетности по форме №4–МТП или расход топлива в данном регионе);

Средний удельный выброс g_{jci} выбирается из таблицы В.4.

Коэффициент K_{Tji} определяется по таблице В.3.

По формуле (2.3) можно также приближенно определить выбросы загрязняющих веществ сельскохозяйственной техникой.

Выбросы загрязняющих веществ от ДВС автомобилей при работе в режиме стационарных источников (внутригаражные разезды, посты техобслуживания, мойки) определяются в количестве 0,5 % от выбросов при расходовании заданного количества топлива. В том числе на гаражные разезды – 70 %, на техобслуживание 30 % от них.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.
ТАБЛИЦЫ К РАСЧЕТАМ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Таблица А.1– Характеристики топлив

Марка угля	Влажность	Зольность	Содержание серы	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
Антрацитовый штыб АШ	8,5	30,0	1,9	16,39
Тощие угли ТР	6,0	25,0	2,7	24,07
Донецкий газовый ГР	10,0	28,0	3,5	20,47
Донецкий длиннопламенный ДР	13,0	28,0	3,5	18,50
Львовско–волинский ГР	10,0	23,0	3,4	21,4
Александровский бурый Б1Р	56,7	34,2	4,6	5,0
Топливо – мазут				
Мазут малосернистый	–	0,1	0,5	40,30
Мазут сернистый	–	0,1	1,9	39,85
Мазут высокосернистый	–	0,1	4,1	38,89

Таблица А.2 – Доля летучей золы $a_{вих}$ и потери тепла от механической неполноты сгорания q_4 при различных технологиях сжигания

Технология сжигания	$a_{вих}, \%$		$q_4, \%$		
	Уголь	Мазут	Каменные уг-ли	Антра-циты	Мазут
С твердым (сухим) шлакоудалением	0,95	1	1,5	1	0
Открытая топка с жидким шлакоудалением	0,80	1	0,5	0,5	0
Двухкамерная топка с вертикальным предтопком	0,30	1	0,5	0,2	0
Двухкамерная топка горизонтальная циклонная	0,15	1	1	0,2	0
Топка с циркулирующим кипящим слоем	0,50	–			
Топка с неподвижным слоем	0,15	–			

Таблица А 3 – Эффективность связывания оксидов серы золой или сорбентом в топке

Технология сжигания	η_1	Примечание
Факельное сжигание угля в котлах с жидким шлакоудалением	0,05	Связывание золой топлива
Факельное сжигание угля в котлах с твердым шлакоудалением	0,1	То же
Факельное сжигание мазута в котлах	0,02`	То же
Сжигание в кипящем слое, сухое (полусухое) связывание серы СаО	0,95	Связывание сорбентом в котле при мольном соотношении Са/S m=2,5

Таблица А.4 – Эффективность и коэффициент работы сероочистной установки

Технология десульфурации дымовых газов	Параметры установки сероочистки	
	η_{II}	β
Мокрая очистка в скруббере с использованием известняка (извести) или доломита с получением гипса	0,95	0,99
Мокрая очистка – процесс Велмана–Лорда с использованием солей натрия	0,97	0,99
Мокрая очистка – процесс Вальтера с использованием аммиачной воды	0,88	0,99
Сухая очистка – адсорбция активированным углем	0,95	0,99

Таблица А.5 – Эффективность улавливания оксидов серы во время золоулавливания в мокром скруббере

Приведенное содержание серы, %/(МДж/кг)	Щелочность орошающей воды, мг–экв/л		
	0	5	10
1	2	3	4
0,01	0,0250	0,1450	0,3000
0,02	0,0220	0,0850	0,1680
0,03	0,0195	0,0520	0,1010
0,04	0,0180	0,0390	0,0660
0,05	0,0175	0,0300	0,0520
0,06	0,0170	0,0260	0,0430
0,07	0,0165	0,0215	0,0350
0,08	0,0160	0,0200	0,0300
0,09	0,0155	0,0190	0,0275
0,10	0,0150	0,0180	0,0230

Окончание таблицы А.5

1	2	3	4
0,11	0,0145	0,0170	0,0205
0,12	0,0135	0,0160	0,0200
0,13	0,0130	0,0150	0,0185
0,18	0,0120	0,0120	0,0120

Таблица А.6 – Показатель эмиссии оксидов азота без учета первичных мероприятий $k_{(NO_x)_0}$

Технология сжигания	Твердое топливо	Мазут	Природный газ
Факельное сжигание: Тепловая мощность котла ≥ 300 МВт:		200	150
с жидким шлакоудалением при сжигании антрацита	420		
с жидким шлакоудалением при сжигании каменного угля	250		
с твердым шлакоудалением при сжигании каменного угля	230		
Факельное сжигание: Тепловая мощность котла < 300 МВт:		140	
с жидким шлакоудалением при сжигании антрацита	250		
с жидким шлакоудалением при сжигании каменного угля	180		
с твердым шлакоудалением при сжигании каменного угля	160		
с горизонтальной циклонной топкой для каменного угля	480		

Таблица А.7 – Коэффициент w – отношение паропродуктивности котла D_0 к его тепловой мощности Q

Оборудование	Значение w
Котел с давлением свежего пара $P_0 > 13,8$ МПа (при $D_0 \geq 500$ т/час с промежуточным перегревом	1,35
Котел с давлением пара $9,8 \text{ МПа} \leq P_0 \leq 13,8 \text{ МПа}$ (при $D_0 < 500$ т/час без промежуточного перегрева	1,45
Котел с давлением пара $1,4 \text{ МПа} < P_0 < 9,8 \text{ МПа}$ (при $D_0 = 6,5 \dots 75$ т/час для перегретого пара) без промежуточного перегрева	1,35
Котел с давлением пара $P_0 \leq 1,4$ МПа (при $D_0 \leq 20$ т/час для насыщенного пара) без промежуточного перегрева	1,5

Таблица А.8 – Значения эмпирического коэффициента z

Тепловая мощность (паропродуктивность) котельной установки	Твердое топливо	Природный газ, мазут
Паровой котел 140МВт и выше (200т/год и выше)	1,15	1,25
Паровой котел от 22 до 140МВт (от 30 до 200т/год)	1,15	1,25
Водогрейный котел	1,15	1,25

Таблица А.9 – Эффективность первичных мероприятий по сокращению выбросов NO_x

Тип первичных мероприятий	Эффективность мероприятия, η_I
Малотоксичные горелки	0,20
Ступенчатая подача воздуха	0,30
Подача третичного воздуха	0,20
Рециркуляция дымовых газов	0,10
Трехступенчатая подача воздуха и топлива	0,35
Малотоксичные горелки+ступенчатая подача воздуха	0,45
Малотоксичные горелки+подача третичного воздуха	0,40
Малотоксичные горелки+рециркуляция дымовых газов	0,30
Ступенчатая подача воздуха+подача третичного воздуха	0,45
Ступенчатая подача воздуха+рециркуляция дымовых газов	0,40
Малотоксичные горелки+ступенчатая подача воздуха+рециркуляция дымовых газов	0,50
Малотоксичные горелки+ступенчатая подача воздуха+подача третичного воздуха	0,60

Таблица А.10 – Эффективность и коэффициенты работ установки очистки газов от NO_x

Технология очистки газов от NO_x	Эффективность η_{II}	Коэффициент работы β
Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)	0,5	0,99
Селективное каталитическое восстановление (СКВ)	0,8	0,99
Активированный уголь	0,7	0,99
Процесс DESONOX–SNOX	0,95	0,99

Таблица А.11 – Показатели эмиссии оксида углерода k_{CO}

Технология сжигания топлива	Вид топлива		
	Твердое топливо	Мазут	Природный газ
Факельное сжигание:		15	17
Котел с жидким шлакоудалением	11,4		
Котел с твердым шлакоудалением	11,4		
Сжигание в кипящем слое	9,7		
Сжигание в неподвижном слое	121		
Сжигание в камере сгорания ГТУ		15	15

Таблица А.12 – Содержание тяжелых металлов в энергетических углях

Марка угля	Содержание металла $c_{вм}$, мг/кг								
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Антрацитовый штыб АШ	20	0	47	29	0,28	26	20	0	40
Тощие угли ТР	20	0	47	29	0,2	26	18	0	40
Донецкий газовый ГР	20	0	47	29	0,14	26	14	0	40
Донецкий длиннопламенный ДР	20	0	47	29	0,16	26	16	0	40
Львовско–волинский ГР	20	0	47	29	0,16	26	16	0	40
Александровский бурый Б1Р	20	0	47	29	0,16	26	14	0	40

Таблица А.13 – Коэффициент "обогащения" тяжелых металлов после золоуловителя

Металл	$f_{зб}$			
	Степень улавливания			
	$\eta \leq 0,7$	$0,7 < \eta \leq 0,97$	$0,97 < \eta \leq 0,99$	$\eta > 0,99$
Арсен (As)	1,0	$\eta = 3,7\eta - 1,59$	$\eta = 175\eta - 167,75$	5,5
Кадмий(Cd)	1,0	$\eta = 7,04\eta - 3,93$	$\eta = 205\eta - 195,55$	7,0
Хром(Cr)	1,0	1,0	1,0	1,0
Медь(Cu)	1,0	$\eta = 0,37\eta + 0,74$	$\eta = 60\eta - 57,1$	2,3
Ртуть(Hg)	1,0	1,0	1,0	1,0
Никель(Ni)	1,0	$\eta = 1,48\eta - 0,04$	$\eta = 95\eta - 90,75$	3,3
Свинец(Pb)	1,0	$\eta = 5,56\eta - 2,89$	$\eta = 175\eta - 167,25$	6,0
Селен(Se)	1,0	$\eta = 7,78\eta - 4,44$	$\eta = 220\eta - 210,3$	7,5
Цинк(Zn)	1,0	$\eta = 7,04\eta - 3,93$	$\eta = 205\eta - 195,55$	7,0

Таблица А.14 – Доля газообразной фракции тяжелого металла f_2 при сжигании угля

Тяжелые металлы	Доля газообразной фракции f_2
Арсен (As)	0,005
Ртуть(Hg)	0,900
Селен(Se)	0,150

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ТАБЛИЦЫ К РАСЧЕТАМ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА

Таблица В.1 – Значения удельных выбросов загрязняющих веществ автомобилями (кг/т топлива)

<i>При движении в условиях города и населенных пунктов</i>						
Группа автомобилей	g_{1CO}	g_{1CH}	g_{1NOx}	g_{1C}	g_{1SO2}	g_{1Pb}
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на бензине и сжиженном нефтяном газе (СНГ)	233	56.9	16.37	–	0.6	0.23
Грузовые автомобили с дизелями	41.5	6.93	29.6	3.85	5.0	–
Автобусы с ДВС, работающие на бензине и СНГ	233	56.9	16.37	–	0.6	0.23
Автобусы с дизелями	41.5	6.93	29.6	3.85	5.0	–
Грузовые автомобили и автобусы с ДВС, работающие на сжатом природном газе	92	30.8	23.2	–	–	–
Легковые служебные и специальные легковые автомобили, автомобили индивидуальных владельцев с ДВС, работающие на бензине и СНГ	233	33.5	16.37	–	0.6	0.5
<i>При движении вне городов и населенных пунктов</i>						
Группа автомобилей	g_{2CO}	g_{2CH}	g_{2NOx}	g_{2C}	g_{2SO2}	g_{2Pb}
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на бензине и сжиженном нефтяном газе (СНГ)	152	34.2	28.5	–	0.6	0.23
Грузовые автомобили с дизелями	29.3	5.3	33.7	3.85	5.0	–
Автобусы с ДВС, работающие на бензине и СНГ	152	34.2	28.5	–	0.6	0.23
Автобусы с дизелями	29.3	5.3	33.7	3.85	5.0	–
Грузовые автомобили и автобусы с ДВС, работающие на сжатом природном газе	82.0	12.12	33	–	–	–
Легковые служебные и специальные легковые автомобили, автомобили индивидуальных владельцев с ДВС, работающие на бензине и СНГ	152	20.15	28.5	–	0.6	0.5

Таблица В.2 – Значения усредненных удельных выбросов вредных веществ автомобилями (кг/т топлива)

Группа автомобилей	g _{CO}	g _{CH}	g _{NOx}	g _C	g _{SO2}	g _{Pb}
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на бензине и СНГ при городских перевозках	225,7	54,8	17,46	–	0,6	0,23
Те же автомобили при других перевозках	169,8	39,2	25,8	–	0,6	0,23
Грузовые автомобили с дизелями при городских перевозках	40,4	6,8	30,0	3,85	5,0	–
Те же автомобили при других перевозках	32,0	5,65	32,8	3,85	5,0	–
Автобусы с ДВС, работающие на бензине и СНГ при городских перевозках	233	56,9	16,37	–	0,6	0,23
Те же автобусы при работе на пригородных и туристических маршрутах	210,36	50,5	19,76	–	0,6	0,23
Те же автобусы при междугородных перевозках	169,0	38,97	25,95	–	0,6	0,23
Те же автобусы при перевозках в сельской местности	177,92	41,45	24,6	–	0,6	0,23
Автобусы с дизелями при городских перевозках	41,5	6,93	29,6	3,85	5,0	–
Те же автобусы при работе на пригородных и туристических маршрутах	38,08	6,47	30,74	3,85	5,0	–
Те же автобусы при междугородных перевозках	31,86	5,64	32,84	3,85	5,0	–
Те же автобусы при перевозках в сельской местности	33,2	5,81	32,38	3,85	5,0	–
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на сжатом природном газ (СПГ) при гор. перевозках	91,1	29,13	24,07	–	–	–
Те же автомобили при других перевозках	84,2	16,29	30,8	–	–	–
Автобусы с ДВС, работающие на сжатом природном газ (СПГ) при городских перевозках	92	30,8	23,2	–	–	–
Те же автобусы при работе на пригородных и туристических маршрутах	89,2	25,6	25,94	–	–	–
Те же автобусы при междугородных перевозках	84,1	16,1	30,94	–	–	–
Те же автобусы при перевозках в сельской местности	85,2	18,15	29,86	–	–	–
Легковые служебные и специальные легковые автомобили с ДВС, работающие на бензине и СНГ и находящиеся на учете в городах	225,7	32,3	17,46	–	0,6	0,5
Те же автомобили, находящиеся на учете в сельской местности	177,92	24,42	24,62	–	0,6	0,5
Автомобили индивидуальных владельцев с ДВС, работающие на бензине и СНГ и находящиеся на учете в городах	202,22	28,43	20,98	–	0,6	0,5
Те же автомобили, находящиеся на учете в сельской местности	177,92	24,42	22,91	–	0,6	0,5

Примечание: Выбросы соединений свинца для автомобилей, работающих на сжиженном нефтяном газе (СНГ) , не определяются.

Таблица В.3 – Коэффициент K_{Tji} , учитывающий воздействие технического состояния автомобилей на величину выбросов загрязняющих веществ

Группа автомобилей	K_{TCO}	K_{TCH}	K_{TNOx}	K_{TC}
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на бензине и сжиженном нефтяном газе (СНГ)	1,7	1,8	0,9	–
Грузовые автомобили с дизелями	1,5	1,4	0,95	1,8
Автобусы с ДВС, работающие на бензине и СНГ	1,7	1,8	0,9	–
Автобусы с дизелями	1,5	1,4	0,95	1,8
Грузовые автомобили и автобусы с ДВС, работающие на сжатом природном газе	1,7	1,8	0,9	–
Легковые служебные и специальные легковые автомобили, автомобили индивидуальных владельцев с ДВС, работающие на бензине и СНГ	1,5	1,5	0,9	–

Примечание: Для диоксида серы SO_2 и соединений свинца Pb коэффициент K_T равен 1.

Таблица В.4 – Значения средних удельных выбросов вредных веществ автомобилями (кг/т топлива)

Вид топлива	g_{CO}	g_{CH}	g_{NOx}	g_C	g_{SO2}	g_{Pb}
Бензин	196,5	37,0	21,8	–	0,6	0,35
Сжиженный нефтяной газ (СНГ)	196,5	37,0	21,89	–	0,3	–
Дизельное топливо	36,0	6,2	31,5	3,85	5,0	–
Сжатый природный газ (СПГ)	87,5	22,4	27,8	–	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ С

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Таблица С.1 – Варианты 1–5

	ВАРИАНТ 1		ВАРИАНТ 2		ВАРИАНТ 3		ВАРИАНТ 4		ВАРИАНТ 5	
Тепловая мощность котла , МВт	Номинальная	200	Номинальная	250	Номинальная	300	Номинальная	350	Номинальная	350
	Фактическая	180	Фактическая	200	Фактическая	250	Фактическая	290	Фактическая	290
Расход топлива, тон	100000		120000		150000		200000		180000	
Вид топлива(марка)	Донецкий газовой ГР		Донецкий длиннопламенный ДР		Антрацитовый штыб АШ		Антрацитовый штыб АШ		Донецкий длиннопламенный ДР	
Технология сжигания	Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.	
Мероприятия по сокращению выбросов ЗВ:										
Первичные мероприятия сокр.NOx	Ступенчатая подача воздуха		Рециркуляция дымовых газов		Ступ.подача воздуха +рецирк. дымовых газов		Подача третичного воздуха		Ступенч.подача воздуха +подача третичного воздуха	
Газоочистные установки:	Мокрая очистка от SO ₂ в скруббере с использованием известняка		Мокрая очистка от SO ₂ - процесс Вельмана-Лорда		Мокрая очистка от SO ₂ - процесс Вальтера		Мокрая очистка от SO ₂ в скруббере с использованием известняка		Мокрая очистка от SO ₂ - процесс Вальтера	
	Селект.некат.восстановл ение NOx		Селект.каталит.восстан овление NOx		Процесс DESONOX-SNOX		Процесс DESONOX-SNOX		Процесс DESONOX-SNOX	
Эффективность очистки газов от твердых частиц	η_{zy}	0,95	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,97

Таблица С.2 – Варианты 6–10

	ВАРИАНТ 6		ВАРИАНТ 7		ВАРИАНТ 8		ВАРИАНТ 9		ВАРИАНТ 10	
Тепловая мощность котла , МВт	Номинальная	200	Номинальная	250	Номинальная	300	Номинальная	350	Номинальная	400
	Фактическая	180	Фактическая	200	Фактическая	250	Фактическая	290	Фактическая	360
Расход топлива, тон	100000		150000		200000		250000		300000	
Вид топлива(марка)	Донецкий газовой ГР		Донецкий длиннопламенный ДР		Львовско-волинский ГР		Антрацитовый штыб АШ		Тощие угли ТР	
Технология сжигания	Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением	
Мероприятия по сокращению выбросов ЗВ:										
Первичные мероприятия сокр.NOx	Ступенчатая подача воздуха		Рециркуляция дымовых газов		Ступ.подача воздуха +рецирк. дымовых газов		Подача третичного воздуха		Ступенч.подача воздуха +подача третичного воздуха	
Газоочистные установки:	Мокрая очистка от SO ₂ в скруббере с использованием известняка		Мокрая очистка от SO ₂ - процесс Вельмана-Лорда		Мокрая очистка от SO ₂ - процесс Вальтера		Мокрая очистка от SO ₂ в скруббере с использованием известняка		Мокрая очистка от SO ₂ - процесс Вальтера	
	Селект.некат.восстановление NOx		Селект.каталит.восстановление NOx		Процесс DESONOX-SNOX		Процесс DESONOX-SNOX		Селект.каталит.восстановление NOx	
Эффективность очистки газов от твердых частиц	η_{zy}	0,95	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,97

Таблица С.3 – Варианты 11–15

	ВАРИАНТ 11		ВАРИАНТ 12		ВАРИАНТ 13		ВАРИАНТ 14		ВАРИАНТ 15	
Тепловая мощность котла , МВт	Номинальная	200	Номинальная	300	Номинальная	350	Номинальная	100	Номинальная	150
	Фактическая	180	Фактическая	260	Фактическая	290	Фактическая	80	Фактическая	120
	Котел с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей при остановке котла		Котел без промежуточных пароперегревателей, очистка поверхностей при остановке котла		Котел с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей при остановке котла		Котел с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей при остановке котла		Котел без промежуточных пароперегревателей, очистка поверхностей при остановке котла	
Расход топлива, тон	100000		150000		200000		50000		70000	
Вид топлива(марка)	Мазут малосернистый		Мазут сернистый		Мазут высокосернистый		Мазут малосернистый		Мазут сернистый	
Технология сжигания	Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.	
Мероприятия по сокращению выбросов ЗВ:										
Первичные мероприятия сокр.NOx	Зх-ступенчатая подача воздуха и топлива		Зх-ступенч.подача воздуха + третичный воздух		Малотоксичные горелки + подача третичного воздуха		Ступенчатая подача воздуха		Ступенч.подача воздуха + рециркуляция дымовых газов	
Газоочистные установки:	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом CaO в котле при Ca/S=2,5	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом CaO в котле при Ca/S=2,5	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом CaO в котле при Ca/S=2,5	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом CaO в котле при Ca/S=2,5	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом CaO в котле при Ca/S=2,5
η_{zy}	0,800		0,750		0,850		0,700		0,750	
	Селективное некаталитическое восстановление NOx		Процесс DESONOX-SNOX		Селект.каталитическое восстановление NOx		Селективное некаталитическое восстановление NOx		Процесс DESONOX-SNOX	

Таблица С.4 – Варианты 16–20

	ВАРИАНТ 16		ВАРИАНТ 17		ВАРИАНТ 18		ВАРИАНТ 19		ВАРИАНТ 20	
Тепловая мощность котла , МВт	Номинальная	200	Номинальная	20	Номинальная	40	Номинальная	60	Номинальная	80
	Фактическая	170	Фактическая	18	Фактическая	35	Фактическая	55	Фактическая	71
	Котел с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей при остановке котла		Котел без промежуточных пароперегревателей, очистка поверхностей при остановке котла		Котел с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей при остановке котла		Котел с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей при остановке котла		Котел без промежуточных пароперегревателей, очистка поверхностей при остановке котла	
Расход топлива, тон	90000		800		1000		1300		1500	
Вид топлива(марка)	Мазут высокосернистый		Мазут сернистый		Мазут высокосернистый		Мазут малосернистый		Мазут сернистый	
Технология сжигания	Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.	
Мероприятия по сокращению выбросов ЗВ:										
Первичные мероприятия сокр.NOx	Малотоксичные горелки + ступенчатая подача воздуха		3х-ступенч.подача воздуха + третичный воздух		Малотоксичные горелки + подача третичного воздуха		Ступенчатая подача воздуха		Ступенч.подача воздуха + рециркуляция дымовых газов	
Газоочистные установки:	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом СаО в котле при Са/S=2,5	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом СаО в котле при Са/S=2,5	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом СаО в котле при Са/S=2,5	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом СаО в котле при Са/S=2,5	Очистка от мазутной золы в батарейном циклоне	Связывание S сорбентом СаО в котле при Са/S=2,5
η_{zu}	0,800		0,790		0,810		0,790		0,800	
	Селект. каталитическое восстановление NOx		Процесс DESONOX-SNOX		Селект. каталитическое восстановление NOx		Селективное некаталитическое восстановление NOx		Процесс DESONOX-SNOX	

Таблица С.5 – Варианты 21–25

	ВАРИАНТ 21		ВАРИАНТ 22		ВАРИАНТ 23		ВАРИАНТ 24		ВАРИАНТ 25	
Тепловая мощность котла , МВт	Номинальная	200	Номинальная	250	Номинальная	300	Номинальная	350	Номинальная	350
	Фактическая	180	Фактическая	200	Фактическая	250	Фактическая	290	Фактическая	290
Расход топлива, тон	100000		120000		150000		200000		180000	
Вид топлива(марка)	Донецкий газовой ГР		Тошние угли ТР		Антрацитовый штыб АШ		Тошние угли ТР		Донецкий газовой ГР	
Технология сжигания	Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.	
Мероприятия по сокращению выбросов ЗВ:										
Первичные мероприятия сокр.NOx	Ступенчатая подача воздуха		Рециркуляция дымовых газов		Ступ.подача воздуха +рецирк. дымовых газов		Подача третичного воздуха		Ступенч.подача воздуха +подача третичного воздуха	
Газоочистные установки:	Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 10 мг-экв/л		Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 10 мг-экв/л		Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 10 мг-экв/л		Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 10 мг-экв/л		Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 10 мг-экв/л	
	Селект.некаталитическое восстановление NOx		Селект.каталит.восстановл ение NOx		Процесс DESONOX-SNOX		Адсорбция на активированном угле		Процесс DESONOX-SNOX	
Эффективность очистки газов от твердых частиц	η_{zy}	0,95	η_{zy}	0,97	η_{zy}	0,98	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,97

Таблица С.6 – Варианты 26–30

	ВАРИАНТ 26		ВАРИАНТ 27		ВАРИАНТ 28		ВАРИАНТ 29		ВАРИАНТ 30	
Тепловая мощность котла , МВт	Номинальная	200	Номинальная	250	Номинальная	300	Номинальная	320	Номинальная	390
	Фактическая	180	Фактическая	200	Фактическая	250	Фактическая	290	Фактическая	360
Расход топлива, тон	100000		150000		200000		100000		120000	
Вид топлива(марка)	Тощие угли ТР		Антрацитовый штыб АШ		Тощие угли ТР		Антрацитовый штыб АШ		Тощие угли ТР	
Технология сжигания	Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением.		Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с жидким шлакоудалением.		Факельное сжигание с твердым (сухим) шлакоудалением	
Мероприятия по сокращению выбросов ЗВ:										
Первичные мероприятия сокр. NOx	Ступенчатая подача воздуха		Рециркуляция дымовых газов		Ступ.подача воздуха +рецирк. дымовых газов		Подача третичного воздуха		Ступенч.подача воздуха +подача третичного воздуха	
Газоочистные установки:	Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 5 мг-экв/л		Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 5 мг-экв/л		Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 0 мг-экв/л		Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 0 мг-экв/л		Золоулавливание в мокром скруббере, щелочность воды 10 мг-экв/л	
	Селект.некаталитическое восстановление NOx		Адсорбция на активированном угле		Процесс DESONOX-SNOX		Селект.некаталитическое восстановление NOx		Селект.каталит.восстановл ение NOx	
Эффективность очистки газов от твердых частиц	η_{zy}	0,95	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,96	η_{zy}	0,97

ПРИЛОЖЕНИЕ D

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА

Таблица D.1 – Варианты заданий 1÷30

№ варианта	Группа автотранспорта	Расход топлива, т		№ варианта	Группа автотранспорта	Расход топлива, т	
		в том числе:				в том числе:	
		в городе	вне города			в городе	вне города
1	Грузовые авто с ДВС на бензине и СНГ	30		16	Грузовые авто с ДВС на бензине и СНГ	35	
		15	15			20	15
2	Грузовые автомобили с дизелями	40		17	Грузовые автомобили с дизелями	45	
		20	20			30	15
3	Автобусы с ДВС на бензине и СНГ	50		18	Автобусы с ДВС на бензине и СНГ	55	
		30	20			25	30
4	Автобусы с дизелями	60		19	Автобусы с дизелями	65	
		40	20			25	40
5	Грузовые авто и автобусы с ДВС на СПГ	70		20	Грузовые авто и автобусы с ДВС на СПГ	75	
		40	30			30	45
6	Грузовые авто с ДВС на бензине и СНГ	30		21	Грузовые авто с ДВС на бензине и СНГ	80	
		городские перевозки				городские перевозки	
7	Грузовые автомобили с дизелями	40		22	Грузовые автомобили с дизелями	90	
		городские перевозки				городские перевозки	
8	Автобусы с ДВС на бензине и СНГ	50		23	Автобусы с ДВС на бензине и СНГ	100	
		городские перевозки				городские перевозки	
9	Автобусы с дизелями	60		24	Автобусы с дизелями	110	
		городские перевозки				городские перевозки	
10	Автобусы с ДВС на сжатом природном газе	70		25	Автобусы с ДВС на сжатом природном газе	120	
		городские перевозки				городские перевозки	
11	Автотранспорт с ДВС на бензине	30		26	Автотранспорт с ДВС на бензине	80	
12	Автотранспорт с ДВС на СНГ	40		27	Автотранспорт с ДВС на СНГ	90	
13	Автотранспорт с ДВС на дизеле	50		28	Автотранспорт с ДВС на дизеле	100	
14	Автотранспорт с ДВС на СПГ	60		29	Автотранспорт с ДВС на СПГ	110	
15	Автотранспорт с ДВС на СПГ	70		30	Автотранспорт с ДВС на СПГ	120	

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. Київ. 2002.– 43 с.
2. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин від автомобільного транспорту. Київ. 2000.– 14 с.
3. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. Л.: Гидрометеиздат, 1986.– 184 с.
4. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справ.изд.– М.: Химия, 1991.– 368 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки

до курсового проекту

"Інвентаризація викидів забруднюючих речовин від підприємств"

Частина 2.

Розрахунок викидів в атмосферу від енергетичних установок та автотранспорту
до дисципліни

«Прикладна аероекологія»

Модуль 3

**Основи утворення і процеси формування викидів
в атмосферне повітря**

*(для студентів 3 курсу (6 семестр) денної
і 4 курсу (7 семестр) заочної форм навчання
напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона довкілля
і збалансоване природокористування)
(рос. мовою)*

Укладачі: **БЕКЕТОВ** Володимир Єгорович
ЄВТУХОВА Галина Петрівна

Відповідальний за випуск *Ф. В. Стольберг*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *І. В. Волосождарова*

План 2012, поз. 83М

Підп. до друку 06.04.2015 р.	Формат 60 x 84/16
Друк на різнографі	Ум. друк. арк.
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.